



(19)

(11) Publication number: **2003017798 A**

Generated Document.

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(21) Application number: **2001202039**(51) Intl. Cl.: **H01S 5/026 G02F 1/017 H01S 5/343**(22) Application date: **03.07.01**

(30) Priority:

(43) Date of application  
publication: **17.01.03**(84) Designated contracting  
states:(71) Applicant: **HITACHI LTD**(72) Inventor: **SHIRAI MASATAKA  
TSUJI SHINJI  
OTOSHI SO**

(74) Representative:

**(54) LIGHT SOURCE  
MODULE INTEGRATED  
WITH OPTICAL  
MODULATOR**

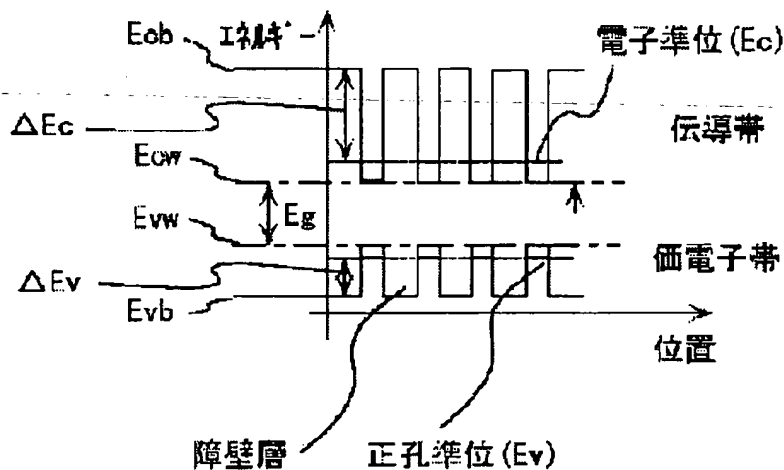
(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a light source integrated with optical modulator module which realizes a low chirp parameter and a high quenching ratio at once and never deteriorates the chirp parameter and the quenching ratio over a wide operating temperature range.

**SOLUTION:** An active layer of a semiconductor laser element integrated with optical modulator uses an MQW layer containing a mixed crystal of our elements In, Ga, Al and As to increase the band offset  $E_c$  of the conductor over 75 meV and the band offset  $E_v$  of the valence band over 0 meV below 25 meV. To operate over a wider temperature range, it is set to increase  $E_c$  over 85 meV and increase  $E_v$  over 0 meV below 25 meV.

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

図 2



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-17798

(P2003-17798A)

(43) 公開日 平成15年1月17日 (2003.1.17)

(51) IntCl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト <sup>*</sup> (参考)
H 0 1 S 5/026	6 1 6	H 0 1 S 5/026	6 1 6 2 H 0 7 9
G 0 2 F 1/017	5 0 3	G 0 2 F 1/017	5 0 3 5 F 0 7 3
H 0 1 S 5/343		H 0 1 S 5/343	

審査請求 未請求 請求項の数4 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2001-202039 (P2001-202039)

(22) 出願日 平成13年7月3日 (2001.7.3)

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 白井 正敬

東京都国分寺市東窓ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(72) 発明者 辻 伸二

東京都国分寺市東窓ヶ窪一丁目280番地

株式会社日立製作所中央研究所内

(74) 代理人 100068504

弁理士 小川 勝男 (外2名)

最終頁に続く

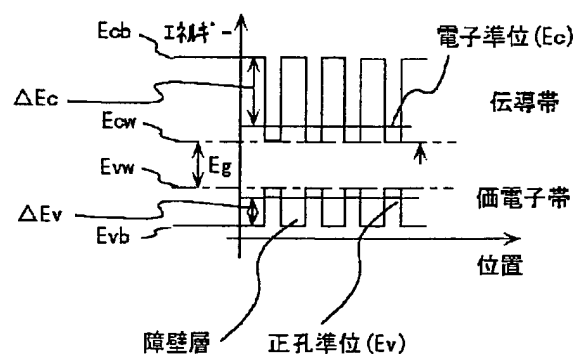
(54) 【発明の名称】 光変調器集積光源モジュール

(57) 【要約】

【課題】低いチャープパラメータと高い消光比を同時に実現する光変調器集積光源モジュールを提供し、広い動作温度範囲でチャープパラメータ及び消光比が劣化しない光変調器集積光源モジュールを提供すること。

【解決手段】光変調器集積半導体レーザ素子の活性層に In, Ga, Al 及び As の4元混晶を含んだMQW層を用い、伝導帯のバンドオフセット  $\Delta E_c$  を75 meV よりも大きくし、かつ、価電子帯のバンドオフセット  $\Delta E_v$  を0 meV より大きく25 meV より小さくする。更に、広い温度範囲で動作させるため、 $\Delta E_c$  を85 meV より大きくし、かつ、 $\Delta E_v$  を0 meV より大きく25 meV より小さくする。

図 2



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】同一基板上に集積した半導体レーザと変調器とを備えた変調器集積半導体レーザ素子と、該素子の温度を変化させる手段とを少なくとも有しており、該素子の活性層は、InとGaとAlとAsの4元混晶を含む量子井戸層及び障壁層を交互に積層してなる多重量子井戸によって構成され、該多重量子井戸は、該障壁層のバリアの伝導帯のエネルギーを $E_{cb}$ とし、価電子帯のバリアのエネルギーを $E_{vb}$ とし、また、該量子井戸層の伝導帯の中の電子準位のエネルギーを $E_c$ とし、価電子帯の中の正孔準位のエネルギーを $E_v$ とした上で、 $\Delta E_c$ と $\Delta E_v$ を $\Delta E_c = E_{cb} - E_c$ 、 $\Delta E_v = E_v - E_{vb}$ と定義したとき、 $\Delta E_c$ が75 meVより大きく、かつ、 $\Delta E_v$ が0 meVより大きく25 meVより小さいことを特徴とする光変調器集積光源モジュール。

【請求項2】同一基板上に集積した半導体レーザと変調器とを備えた変調器集積半導体レーザ素子と、該素子の温度を変化させる手段とを少なくとも有しており、該素子の活性層は、InとGaとAlとAsの4元混晶を含む量子井戸層及び障壁層を交互に積層してなる多重量子井戸によって構成され、該多重量子井戸は、該障壁層のバリアの伝導帯のエネルギーを $E_{cb}$ とし、価電子帯のバリアのエネルギーを $E_{vb}$ とし、また、該量子井戸層の伝導帯の中の電子準位のエネルギーを $E_c$ とし、価電子帯の中の正孔準位のエネルギーを $E_v$ とした上で、 $\Delta E_c$ と $\Delta E_v$ を $\Delta E_c = E_{cb} - E_c$ 、 $\Delta E_v = E_v - E_{vb}$ と定義したとき、 $\Delta E_c$ が75 meVより大きく、かつ、 $\Delta E_v$ が0 meVより大きく25 meVより小さく、該障壁層は、膜厚が3 nmより大きく、6 nmより小さいことを特徴とする光変調器集積光源モジュール。

【請求項3】同一基板上に集積した半導体レーザと変調器とを備えた変調器集積半導体レーザ素子と、該素子の温度を変化させる手段とを少なくとも有しており、該素子の活性層は、InとGaとAlとAsの4元混晶を含む量子井戸層及び障壁層を交互に積層してなる多重量子井戸によって構成され、該多重量子井戸は、該障壁層のバリアの伝導帯のエネルギーを $E_{cb}$ とし、価電子帯のバリアのエネルギーを $E_{vb}$ とし、また、該量子井戸層の伝導帯の中の電子準位のエネルギーを $E_c$ とし、価電子帯の中の正孔準位のエネルギーを $E_v$ とした上で、 $\Delta E_c$ と $\Delta E_v$ を $\Delta E_c = E_{cb} - E_c$ 、 $\Delta E_v = E_v - E_{vb}$ と定義したとき、 $\Delta E_c$ が85 meVより大きく、かつ、 $\Delta E_v$ が0 meVより大きく30 meVより小さいことを特徴とする光変調器集積光源モジュール。

【請求項4】前記 $\Delta E_v$ が0 meVより大きく25 meVより小さいことを特徴とする請求項3に記載の光変調器集積光源モジュール。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ通信において用いられる光通信モジュール、特に量子井戸層と障壁層を交互に積層した多重量子井戸を具えた電界吸収型光変調器を集積したレーザ光源を含む光送信モジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】半導体レーザの発振波長を安定化するため、半導体レーザは直流で発振させておき、レーザ光の変調を別に設けた変調器で行なわせる、半導体レーザと変調器を同一の基板に集積化した光変調器集積レーザ光源の開発が盛んに行なわれ、光ファイバ通信システムにおいて重要なデバイスとなっている。変調器には、通常、半導体p-n接合への電界印加量に応じて光吸収量が増加する効果を用いたものが用いられ、半導体レーザと共通のプロセスで作製される。

【0003】この変調器集積レーザの変調器吸収層に従来のバルク半導体を用いられていたが、最近になり、バルク半導体よりも低い電圧で駆動することができ、広帯域化が可能なInGaAsP（インジウム・ガリウム・砒素・燐）からなる多重量子井戸（以下「MQW（Multi-Quantum Well）」と略称する）を用いた構造のものが採用されるようになってきた。MQWは、分子線エピタキシー（MBE）或いは有機金属化学気相成長法（MOCVD）などの化合物半導体薄膜成長法によって作製される。このMQWをレーザ部と変調器部で共通に用いる例が多い。

【0004】変調器に求められる基本特性として、消光比がある。消光比は、レーザ光をデジタル信号駆動によりオンオフするときのオンのときの光強度とオフのときの光強度の比で表すパラメータで、値が大きいほど望ましい。

【0005】また、変調器集積レーザにおいて長距離伝送を実現するために、光吸収係数変化に対する屈折率変化で表す変調器のチャーピングパラメータを低減、更には負にする必要があることが知られている（例えば、1997年Van Nostrand Reinhold出版社発行 Govind P. Agrawal及びNiloy K. Dutta共著“Semiconductor Lasers”第2章第47頁～第56頁参照）。

【0006】チャーピングパラメータは、変調器に加える電圧を微量だけ大きくしたときの光の吸収係数変化 $\Delta n$ に伴う屈折率変化 $\Delta \alpha$ の比、即ち、 $\Delta n / \Delta \alpha$ で定義される量である。通常分散ファイバを用いた長距離伝送システムにおいては、このチャーピングパラメータを小さく、より好ましくは負に設定される。

【0007】ここで、変調器集積レーザの変調器部分のバンド構造を図1に示す。図1中の障壁層のバリアの伝導帯のエネルギーを $E_{cb}$ とし、価電子帯のエネルギーを $E_{vb}$ とする。また、伝導帯の井戸層のエネルギーを $E_{cw}$ とし、井戸層の価電子帯のエネルギーを $E_{vw}$ とする。このようなバンド構造において伝導帯の井戸の中

に電子準位  $E_c$  が形成され、価電子帯の井戸の中に正孔準位  $E_v$  が形成される。このとき、伝導帯と価電子帯のバンドオフセット  $\Delta E_c$  と  $\Delta E_v$  をそれぞれ  $\Delta E_c = E_{cb} - E_c$ ,  $\Delta E_v = E_v - E_{vb}$  と定義する。

【0008】上記チャージングパラメータの低減を波長シフトの低減として捉えて、この  $\Delta E_v$  を  $30\text{ meV}$  より大きく  $80\text{ meV}$  より小さくする変調器単体の例が特開平11-212036号公報によって開示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】ところで、MQWを用いた変調器は、優れた電気的特性を持つ反面、温度に敏感なため、使用温度を制限して、例えば素子温度を  $25^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  程度に制御して使用する必要があった。そのため、従来は、ベルティエ効果を使って変調器を冷却するベルティエクーラの搭載が欠かせなかった。

【0010】次に、変調器集積レーザから発射される光の波長を動作中に調整するために、変調器集積レーザのレーザ部の活性層温度を変化させて波長を調整する方法が知られている。この場合、波長を  $4\text{ nm}$  変化させるためには素子温度を  $25^\circ\text{C}$  から  $65^\circ\text{C}$  までの範囲で変化させなければならない。集積化によって近接して置かれる変調器にその熱が当然に及ぶので、ベルティエクーラによって変調器を冷却することが必須となる。

【0011】一方、変調器集積半導体レーザを含む通信用の光送信モジュールにおいては、モジュール外側の壁面温度は  $75^\circ\text{C}$  になることがある。このように、素子温度とその外側との差が大きくなると、ベルティエクーラの消費電力が著しく増大する場合がある。この場合、光送信モジュールの消費電力の大部分をベルティエクーラが占めるため、外側の温度が上がると光通信モジュールの消費電力が著しく増大することとなる。

【0012】また、上述したチャージングパラメータを小さく又は負にするためには、 $\Delta E_v$  を小さくする必要がある。しかし、 $\text{InGaAsP}$  系材料では、井戸層および障壁層に加える歪量に依存して  $\Delta E_c / \Delta E_v < 1$  又は  $\Delta E_c / \Delta E_v \approx 1$  が成立するため、 $\Delta E_v$  を小さくするに伴って  $\Delta E_c$  も小さくなる。  $\Delta E_c$  が小さくなると、今度は消光比が小さくなることが避けられなくなる。このような不都合を避け、高い消光比が維持されつつチャージングパラメータを低く設定することが求められる。

【0013】次に、高速長距離伝送システムにおいては、高密度波長多重が採用されることが多くなってきた。その伝送装置に変調器集積レーザを用いた光送信モジュールを使用する場合、長距離伝送特性を最適化する目的で、光送信モジュールから発射される光の波長を変化させる場合がある。この場合、室温から高温の範囲で波長に対応する目標温度が定められ、半導体レーザの温度がその目標温度に合わせて正確にコントロールされ

る。しかしこのとき、変調器も同時に温度が変化する。このような場合に用いる変調器は、室温から高温の範囲内において所望のチャージングパラメータ及び消光比を維持する必要がある。

【0014】これとは別に、先に述べたベルティエクーラの消費電力が大きくなることが問題になる場合、モジュールの消費電力を低減するためには、素子設定温度を上げることが効果的となる。素子設定温度と外側の温度との差が少なくなり、ベルティエクーラの消費電力が低減される。

10

【0015】この波長可変及び消費電力低減のいずれの場合も、変調器が高温になる。しかしこのとき、消光比の劣化が問題となる。ここで、電子の量子準位が吸収に強く関与して消光比を大きく保つためには、 $\Delta E_c > 3\text{ kT}$  を満たしていることが目安となる。熱活性化エネルギー  $kT$  ( $k$  はボルツマン定数、 $T$  は絶対温度) については、室温  $25^\circ\text{C}$  では  $kT = 25\text{ meV}$  であり、例えば  $75^\circ\text{C}$  まで上昇した場合には、 $kT = 30\text{ meV}$  まで上昇し、 $\Delta E_c$  は  $15\text{ meV}$  以上大きくなければ消光比を維持することができない。しかし、このことは  $\Delta E_v$  を小さくするに伴って  $\Delta E_c$  が小さくなることと相容れなく、結局  $\text{InGaAsP}$  系材料を用いたのでは、消光比を保ち、かつ、チャージングパラメータを適切に保ち、同時に高温で用いることは実現困難のこととなる。なお、変調器集積レーザのレーザ素子については、 $\Delta E_v$  を小さくするに伴って  $\Delta E_c$  が小さくなると、伝導帯の井戸が浅くなるため注入した電子が溢れ出し、レーザ発光に寄与する割合が低下することによってレーザ効率が劣化するという問題がある。

20

30

【0016】本発明の第1の目的は、低いチャージングパラメータと高い消光比を同時に実現する光変調器集積半導体レーザ光源を用いた光送信モジュール即ち光変調器集積光源モジュールを提供することにある。

【0017】本発明の第2の目的は、変調器部分の温度を高くして使用してもチャージングパラメータ及び消光比が劣化しない光変調器集積光源モジュールを提供することにある。

【0018】

40

【発明を解決するための手段】上記の第1の目的は、光変調器集積半導体レーザ素子の活性層に  $\text{In}$ ,  $\text{Ga}$ ,  $\text{Al}$  (アルミニウム) 及び  $\text{As}$  の4元混晶を含んだMQW層を用い、 $\Delta E_c$  を  $75\text{ meV}$  より大きくし、かつ、 $\Delta E_v$  を  $0\text{ meV}$  より大きく  $25\text{ meV}$  より小さくすることによって効果的に達成することができる。そのような手段を採用すれば、高い消光比を保ったままチャージングパラメータの低減することが可能になるからである。

【0019】以下、チャージングパラメータ低減について説明する。まず、吸収係数が  $\Delta\alpha$  だけ変化したときの屈折率変化  $dn$  は、一般に式(1)及び式(2)のように記述することができる。

50

【0020】

\* \* 【数1】

$$dn = \frac{\lambda LD^2}{2\pi^2} \left[ \int_0^{\lambda LD - \varepsilon} \frac{d\alpha(\lambda)}{\lambda LD^2 - \lambda^2} d\lambda - \int_{\lambda LD + \varepsilon}^{\infty} \frac{d\alpha(\lambda)}{\lambda^2 - \lambda LD^2} d\lambda \right] \dots (1)$$

$$dn = \frac{\lambda LD^2}{2\pi^2} \dots (2)$$

このとき、 $\lambda LD$ は変調器に入射するレーザの発振波長であり、 $\varepsilon$ は正の実数で無限小量である。仮に $\Delta\alpha$ が積分範囲で正ならば、式(3)及び式(4)から積分量 $I_1$ 及び $I_2$ は正の数になる。

【0021】

【数2】

$$I_1 = \int_0^{\lambda LD - \varepsilon} \frac{d\alpha(\lambda)}{\lambda LD^2 - \lambda^2} d\lambda \dots (3)$$

$$I_2 = \int_{\lambda LD + \varepsilon}^{\infty} \frac{d\alpha(\lambda)}{\lambda^2 - \lambda LD^2} d\lambda \dots (4)$$

そこで、式(2)から、積分 $I_1$ が積分 $I_2$ よりも小さければチャージングパラメータを負にすることができ。積分 $I_1$ 及び $I_2$ は、吸収率の変化を $1/|\lambda LD^2 - \lambda^2|$ の重み付き平均で積分を行ったものであり、 $I_1$ 及び $I_2$ への $\Delta\alpha$ の寄与は積分パラメータの波長 $(\lambda)$ がレーザ波長 $(\lambda LD)$ から離れるほど小さくなる。

【0022】図3にこれまで使われてきた変調器に関して、印加電圧を小さい値 $V$ から大きい値 $V + \Delta V$ に変化させたときの吸収率変化を示す。図3に示すように、電圧が $V$ のときの吸収率の波長に対する曲線は右下がりの階段状になっており、電圧を $V$ から $V + \Delta V$ に変化させたときの吸収率の変化はほぼ同様に右下がりの階段状になっている。即ち、図3中の角度 $A$ と $A'$ は、例えば半分になるなどの大きな変化を伴っていない。更に、MQWのバンド構造によっては、強い量子準位に伴う吸収のために階段の角の位置にピークを持つ場合もあるが、基本的には右下がりの階段状の形状になる。このとき、屈折率変化の値は $I_1 - I_2$ に比例するから、図3中の領域31の面積が大きく、領域32の面積が小さいため $I_1$ が正で大きな値をとり、更に領域33の面積が小さいと、 $I_1 - I_2$ が正となってチャージングパラメータは正で大きな値をとる。

【0023】一方、チャージングパラメータを小さく、あるいは負にするためには、図4に示すように電圧を $V$ から $V + \Delta V$ に変化させたときに量子準位に伴う吸収が小さくなるようにすればよい。即ち、図4の左下がりの領域41の面積が小さく、領域42が大きくなって、 $I_1 < 0$ となるか、又は、 $I_1 > 0$ となる場合は、領域4

3が大きく $I_1 - I_2$ が負となる必要がある。このとき、 $I_1$ が小さくなるように領域41を小さく、領域42を大きくすることは云うまでもない。

【0024】図4のような吸収率変化を示すMQWのバンド構造を実現するためには、電圧が0Vのときには量子準位にともなう吸収が強く、波長に対する吸収率の変化が図4の電圧が $V$ のときのように右下がりの階段状になるように、 $\Delta E_c > 3kT$ となっていなければならない。同時に、比較的弱い電圧(例えば0.2V程度)を加えた状態で $\Delta E_c > 3kT$ か若しくは $\Delta E_v < kT$ を満たしていなければならない。この電圧を加えないときと弱い電圧0.2Vを加えたときとで $\Delta E_c$ 及び $\Delta E_v$ は大きくは変化しないことから、実際の条件としては電圧を加えないときにおいて、 $\Delta E_c > 3kT$ かつ $\Delta E_v < kT$ を満たさなければならない。

【0025】このことは、変調器のMQWのバンド構造において $\Delta E_c$ が75meVより大きく、かつ $\Delta E_v$ が25meVより小さくなければならないことを示している。

【0026】このような条件を満たすMQWを実現するためにはInGaAlAsから構成されたMQWを変調器に使う必要がある。しかし、例えば1.55 $\mu m$ 帯の変調器をInGaAsPで構成しようとする場合、歪み量子井戸の膜厚等を調整しても、安定に結晶成長可能な範囲では図1に示したように $\Delta E_c < \Delta E_v$ となってしまうため、条件を満たす変調器を実現することができない。

【0027】一方、本発明のInGaAlAsを用いたMQWは、図2に示すようなエネルギーバンド構造を持っており歪み等を適切に設計することによって、 $\Delta E_c$ を75meVより大きく、かつ $\Delta E_v$ を25meVより小さくすることができる。即ち、高い消光比を保ったままチャージングパラメータの低減することができる。

【0028】尤も、MQWにInGaAlAsを用いる例が前記特開平11-212036号公報に記載されている。しかし、観点が異なるため、上述したように設定する $\Delta E_v$ の範囲が相違しており、記載例は本発明と基本的に相違する。

【0029】続いて、上記の第2の目的は、光変調器集積レーザ光源素子の活性層にIn, Ga, Al及びAsの4元混晶を含んだMQW層を用い、 $\Delta E_c$ を85meVより大きくし、かつ、 $\Delta E_v$ を0meVより大きく25meVより小さくすることによって効果的に達成する

ことができる。そのような手段を採用すれば、高温で消光比及びチャージングパラメータの劣化を防ぐことが可能になるからである。

【0030】例えば、ヘルティエ素子によって25℃から75℃まで変調器集積レーザ素子の温度を変化させることによって波長チューニング機能を持たせた素子において、25℃から75℃までの温度範囲において高い消光比と低いチャージングパラメータを維持するためには、消光比は素子の最大温度に対応して $\Delta E_c$ が85 meVより大きく、かつチャージングパラメータは素子の最低動作温度に対応して $\Delta E_v$ が25 meVより小さいバンド構造を持つようにMQWを構成すればよいことが判明した。

【0031】また、素子の温度とモジュールのケースの温度が大きくなる場合、ヘルティエクーラの消費電力が著しく増加する場合があることを先に述べたが、これを防ぐために素子の設定温度を高くした場合、例えば55℃とした場合は、 $\Delta E_c$ を85 meVより大きくし、 $\Delta E_v$ を30 meVより小さくすればよいことが判明した。

【0032】ここで、図7に消光比の温度依存性を示す。図7において、25℃から45℃で消光比の変化が小さい方がInGaAlAsから構成されたMQWを用いたものであり、グラフの中ではA1を表記している。このMQWの $\Delta E_c = 71$  meVであり、印加電圧3Vにおける消光比は温度によって殆ど変化していない。一方InGaAsPから構成されたMQWは、図7の中でPと表記しており $\Delta E_c = 16$  meVであり、印加電圧3Vでの消光比はこの温度範囲で3 dB程度変化している。

【0033】一方、図8にInGaAsPから構成されたMQWを持つ素子(図中P系)とInGaAlAsから構成されたMQWを持つ素子(図中A1系)のチャージングパラメータを示している。電界吸収型変調器のチャージングパラメータは、図8に示すように、電圧が大きくなるにしたがってチャージングパラメータが小さくなる。例えば0.2Vから2.2Vの間電圧を変化させることによって光のデジタル信号を生成するが、この電圧範囲のできるだけ広い範囲でチャージングパラメータが負であることが要求される。図8から分かるように、InGaAlAsから構成された素子の方がInGaAsPから構成された素子に比べてチャージングパラメータが小さく(即ち、チャージングパラメータが負である領域が広く)長距離伝送に向くことが明らかである。このとき、InGaAlAsから構成されたMQWの $\Delta E_v$ は30 meVよりも僅かに小さく、InGaAsPから構成されたMQWの $\Delta E_v$ は、94 meVである。このように $\Delta E_v$ を30 meVより小さくすることによって低チャージング特性が得られる。

【0034】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る変調器集積レーザ光源モジュールを図面に示した幾つかの発明の実施の形態を参照して更に詳細に説明する。

<発明の実施の形態1>図5は、本発明の変調器集積レーザ光源モジュールの内部を上方から見た図である。光変調器集積半導体レーザ素子51は、AlN(窒化アルミニウム)製のサブマウント52上に搭載され、更にサブマウント52は、キャリア53に半田付けによって固定されている。また、キャリア53は、金属製の収納ケース55内に収納されている。温度センサであるサーミスタ59はキャリア53に接触し、キャリア53の温度をモニタしている。AlN製サブマウント52の厚さは0.254 mmであり、熱伝導率は1.3 W/cmKであるため、キャリア53と素子51の温度差を1℃以下にすることができる。従って、サーミスタ59の示す温度をほぼ素子51の温度と同一とすることができる。また、キャリア53は、ヘルティエクーラ54に固定され、冷却される。

【0035】図6にモジュール内部の横断面図を示す。

また、図9に変調器集積レーザ素子の鳥瞰図を示す。図9において、91は、変調器電界印加のためのp型電極であり、この電極の直下に光変調器96を構成する光導波路を設ける。92は、分布帰還型(DFB)半導体レーザ95の電流注入用p型電極であり、変調器と同様にこの直下にレーザを構成する光導波路がある。97は、このDFBレーザのグレーティングであり、レーザの縦モード(光導波路に平行な方向のモード)の単一モード安定性を維持するために用いられる。以上の各部が基板93に形成される。基板93の裏面に接地用電極(図示せず)が設けられていて、該電極が搭載するサブマウント52(図5)に設けられた金属膜の面と接し、更にサブマウント52の該金属膜がCuW(銅タングステン)製のキャリア53(図5)に固定され、同時に接地されている。

【0036】また、図5において、58はフォトダイオードであり、図9に示した半導体レーザ部95の、変調器部96とは反対側から放射される光の強度をモニタすることによって一定の光出力がレーザ部95から出力するパワを一定に保つ。63はファイバ結合用非球面レンズ、64はアイソレータ、65はシングルモードファイバである。

【0037】図10に、図9における線分94によって切断した断面図を示す。N型のInP基板93上に気相成長法でInGaAlAsの井戸層とInGaAlAsの障壁層によるMQW構造を持つ活性層101及び上側ガイド層100を形成する。井戸層及び障壁層の各元素の組成比は、 $\Delta E_c$ が75 meVを僅かに越え、 $\Delta E_v$ が25 meVを僅かに下回るように調整される。また、ガイド層100の厚さは1.7  $\mu$ mである。更にその上に0.2  $\mu$ m厚のInGaAsコンタクト層を形成す

る。幅 $1.7\mu\text{m}$ のストライプを深さ $1.9\mu\text{m}$ で形成し、導波路を構成する。このあとp型電極92を形成するためにポリイミド樹脂で導波路ストライプ以外のところを平坦化する。その後p型電極92を形成する。最後に裏面にn型電極103を形成する。

【0038】以上の本実施液体の変調器集積レーザにより、低いチャープパラメータと高い消光比を同時に備えた光変調器集積レーザ光源モジュールを実現することができる。

【0039】なお、活性層の障壁層に関しては、その膜厚を $3\text{nm}$ よりも大きく、 $6\text{nm}$ よりも小さくすることにより、半導体レーザの発振特性として特に良好な結果が得られることが判明した。

<発明の実施の形態2>本実施形態の変調器集積レーザは、構造は上記の実施形態1と同一であるが、MQWを構成する井戸層及び障壁層の各元素の組成比が、 $\Delta E_c$ が $85\text{meV}$ を僅かに越え、 $\Delta E_v$ が $25\text{meV}$ を僅かに下回るように調整されている。本変調器集積レーザを搭載した光変調器集積レーザ光源モジュールは、 $25^\circ\text{C}$ ~ $75^\circ\text{C}$ の温度範囲で目標とする低いチャープパラメータと高い消光比が劣化せずに維持される。この変調器集積レーザを用いることにより、温度を変えて半導体レーザの発振波長を変化させることが可能になる。

<発明の実施の形態3>図11に、同一基板上に4個の分布帰還型(DFB)レーザ素子部分111が形成され、それらと変調器部分112とが合波器115によって結合されている実施形態を示す。4個のレーザ素子111の発振波長は $3.2\text{nm}$ 間隔で配置され、精度の高い発振波長の制御がレーザ活性層の温度をコントロールすることによって行なわれる。そのため、変調器112の吸収層に実施形態2の場合と同じInGaAlAs/InGaAlAsMQWを用いることにより、素子設定温度が上昇しても変調特性が劣化しないようにした。

【0040】図12に素子の断面図を示す。DFBレーザ部111と変調器部112が合波器115を中間に挟んで配置される。レーザ部111と変調器部112のMQW構造とバンドギャップ波長は、上述の実施形態2と同じであるが、合波器115の光導波路部分のコアはInGaAsPで構成し、この室温でのバンドギャップ波長を $1.2\mu\text{m}$ とした。合波器115のクラッド層(コアの上下の層はInPから構成されている。以上によって波長可変幅が $15\text{nm}$ で消費電力が $1.5\text{W}$ の素子を実現することができる。

<発明の実施の形態4>ヒータを用いてレーザ部を局部的に加熱すると共に、変調器部の素子設定温度を比較的高く保つようにした波長可変の変調器集積半導体レーザを図13に示す。レーザ部分130の温度をヒータ113を用いて変化させることにより、発振波長が変化する。一方、変調器の活性層(吸収層)の温度を比較的高い温度( $55^\circ\text{C}$ )で一定に保ち、出力光波形及び長距離

伝送特性等を最適条件に保つことができるようにした。素子設定温度即ち変調器活性層(吸収層)の温度を高くすることによってベルティエクーラの消費電力を下げ、モジュール消費電力を低減することができる。

【0041】上記の $55^\circ\text{C}$ の素子設定温度で低いチャープパラメータと高い消光比が劣化することなく維持されるように、DFBレーザの活性層及び変調器部の吸収層にInGaAlAs/InGaAlAsMQWが採用され、 $\Delta E_c$ が $85\text{meV}$ よりも大きく、 $\Delta E_v$ が $30\text{meV}$ よりも小さいバンド構造となるよう、活性層及び吸収層の各元素の組成比が調整される。

【0042】なお、上記の活性層及び吸収層は、GaNAs/InGaNaSMQWで構成するようにしてもよく、この場合は、 $\Delta E_c$ は $220\text{meV}$ とすることにより、 $75^\circ\text{C}$ でも消光特性が変化しないようにすることができる。

【0043】本実施形態の光変調器集積レーザ光源モジュールにおいては、DFBレーザ130の発振波長を精度高く制御するために図14に示すフィードバック機構が導入される。図14において、141は波長可変の変調器集積半導体レーザ素子、142は波長変化を電圧変化に変換する波長モニタである。波長モニタ142は波長依存性を持つエタロンなどのフィルタと受光素子を組み合わせることによって構成される。この構成では所望の波長の光134が変調器132を経てレーザ130から出力された場合、波長モニタからの出力が0となるように設計される。

【0044】実際には、要求された光波長を4個に分類可能なテーブルを制御回路143の中のメモリに記憶させておき、該当する特定のレーザ130に電流を流し発振させる。次に波長の微調整を行なうために動作しているレーザ130の近傍に配置されたヒータ131に電流を流して波長モニタ142の出力が0になるまでヒータ131の電力を増やし続ける。このとき変調器集積レーザ素子のレーザ部130以外の領域の温度を一定に保つために、サーミスタ(図14では示さず)の出力が素子温度設定値と一致するようにベルティエクーラ133の電流を増加させる。この2つの制御は、1つのデジタルICを用いて行なうことが可能であり、またアナログ回路の組み合わせを用いて行なうことも可能である。

【0045】なお、本実施形態ではレーザ130近傍にヒータ131を配置したが、変調器近傍にヒータを配置し、変調器の温度をヒータとベルティエクーラで一定に保ち、レーザ部の温度をベルティエクーラで変化させるようにしても、波長可変レーザを実現することができる。

【0046】

【発明の効果】本発明によれば、低いチャープパラメータと高い消光比を同時に実現する光変調器集積レーザ光源モジュールを実現することができる。また、変調器部

分の温度を高くして使用してもチャープパラメータ及び消光比が劣化しない光変調器集積レーザ光源モジュールを実現することができる。変調器部分の温度を高くすることが可能になるので、温度を変化させることによってレーザの発振波長を変化させることが可能になり、長距離伝送用に適した広い波長可変幅を有する光変調器集積レーザ光源モジュールを実現することができる。加えて、変調器部分の温度を高くすることが可能になることにより、ヘルティエクーラの消費電力更にはモジュールの消費電力を低減することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】InGaAsP多重量子井戸のバンド構造を説明するための図。

【図2】InGaAlAs多重量子井戸のバンド構造を説明するための図。

【図3】従来の変調器の吸収率変化を説明するための曲線図。

【図4】本発明の変調器の吸収率変化を説明するための曲線図。

【図5】本発明に係る変調器集積光源モジュールの第1 20の発明の実施の形態を説明するための上面図。

【図6】図5に示したモジュールの断面図。

【図7】消光比の温度変化を説明するための曲線図。

【図8】印加電圧とチャージングパラメータの関係を比\*

\*較して説明するための曲線図。

【図9】図5に示したモジュールの変調器集積レーザ素子を説明するための鳥瞰図。

【図10】図9に示した変調器集積レーザ素子を説明するための断面図。

【図11】本発明の変調器集積光源モジュールの第3の発明の実施の形態を説明するための変調器集積レーザ素子の鳥瞰図。

【図12】図11に示した変調器集積レーザ素子を説明するための断面図。

【図13】本発明の変調器集積光源モジュールの第4の発明の実施の形態を説明するための変調器集積レーザ素子の鳥瞰図。

【図14】第4の発明の実施の形態の波長制御ループを説明するための構成図。

【符号の説明】

51, 141…変調器集積半導体レーザ素子、52…サブマウント、53…キャリア、54, 133…ヘルティエクーラ、55…光送信モジュール筐体、58…フォトダイオード、59…サーミスタ、93…基板、95, 111, 130…レーザ部、96, 112, 132…変調器部、97…グレーティング、100…ガイド層、101…活性層、115…合波器、131…ヒータ、142…波長モニタ、143…制御回路。

【図1】

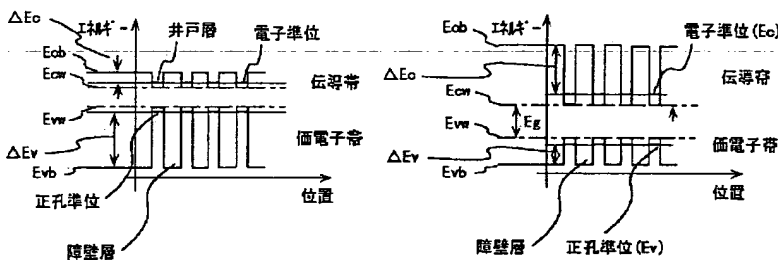
【図2】

【図3】

図 1

図 2

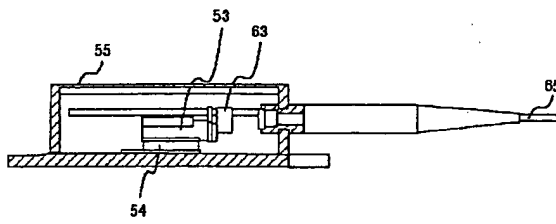
図 3





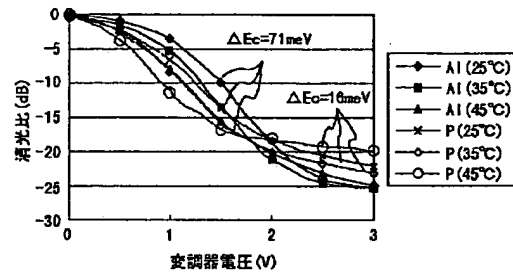
【図6】

図 6



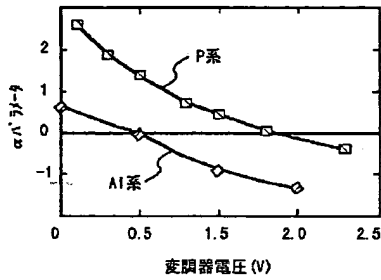
【図7】

図 7



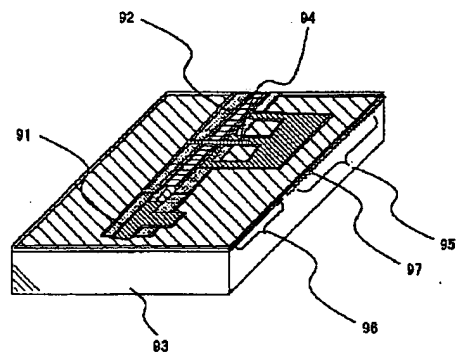
【図8】

図 8



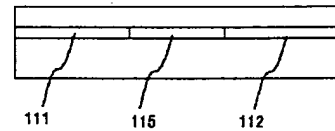
【図9】

図 9



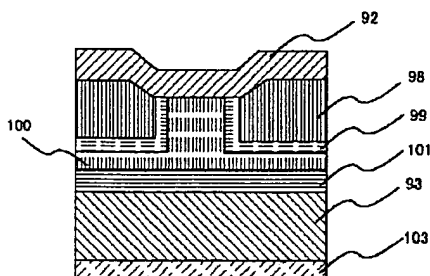
【図12】

図 12



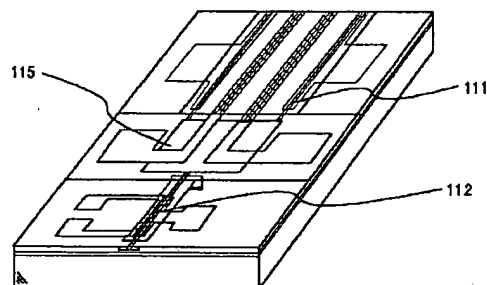
【図10】

図 10



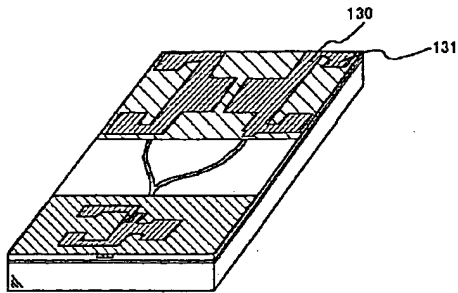
【図11】

図 11



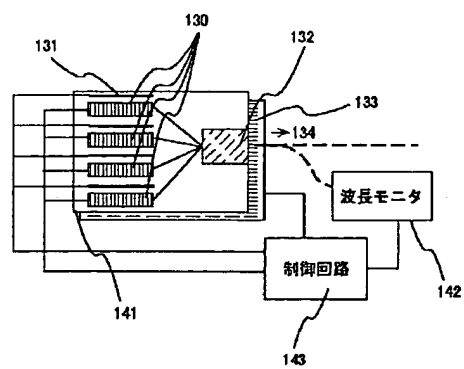
【図13】

図 13



【図14】

図 14



フロントページの続き

(72)発明者 大▲歳▼ 創  
東京都国分寺市東恋ヶ窪一丁目280番地  
株式会社日立製作所中央研究所内

Fターム(参考) 2H079 AA02 AA13 BA01 CA04 DA16  
EA07 EB04 KA18  
5F073 AA73 AB06 AB21 BA01 CA15  
EA02 EA13 FA02 FA07 FA08  
FA24 GA12